

УДК 621.923

А.А. АНДИЛАХАЙ, канд. техн. наук, ПГТУ, г. Мариуполь**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАУСЕНЦЕВ НА ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ И ИХ УСТРАНЕНИЕ**

В работе на основе аналитических решений раскрыт механизм образования заусенцев на обрабатываемой поверхности и определены оптимальные условия обработки по их устранению. Обоснованы наиболее эффективные методы механической обработки по снятию заусенцев и повышению качества обрабатываемых поверхностей

У роботі на основі аналітичних рішень розкритий механізм утворення задірів на оброблюваній поверхні і визначені оптимальні умови обробки по їхньому усуненню. Обґрунтовані найбільш ефективні методи механічної обробки по усуненню задірів і підвищенню якості оброблених поверхонь

On the basis of analytical solutions revealed the mechanism of formation of burrs on the workpiece and the thresholds determined the optimal processing conditions to eliminate them. Substantiated the most effective methods of mechanical treatment to remove burrs and improve the quality of machined surfaces

Повышение качества изготовления деталей машин является важнейшей задачей машиностроения. В особой мере это относится к механической обработке – завершающей стадии изготовления деталей. Поэтому совершенствование методов финишной механической обработки по-прежнему актуально и требует проведения дальнейших исследований. Существенным фактором снижения качества обработки деталей на финишных операциях является образование заусенцев на обрабатываемых поверхностях. Для их устранения применяются различные методы [1, 2]. Однако они весьма трудоемки и усложняют технологические процессы обработки. В связи с этим важно, во-первых, установить механизм образования заусенцев и определить оптимальные условия обработки, при которых заусенцы или не будут образовываться, или будут образовываться с меньшими размерами, что позволит снизить трудоемкость последующих операций по их устранению. Во-вторых, обосновать наиболее эффективные методы обработки по снятию заусенцев и соответственно повышению качества обрабатываемых поверхностей. Исходя из сказанного, целью работы является определение условий образования заусенцев на обрабатываемых поверхностях деталей и путей их устранения.

Для достижения поставленной цели рассмотрим процесс стружкообразования при резании материала с толщиной среза a (рис. 1) на основе теоретического подхода, предложенного в работе [3]. Под действием силы резания P , очевидно, возможен сдвиг обрабатываемого материала вдоль двух условных плоскостей ОА и ОВ, пересекающих наружные поверхности обрабатываемой детали и расположенных соответственно под углами β_1 и β_2 к направлению движения (со скоростью V) инструмента вдоль линии ОС. Для

оценки наиболее вероятного положения плоскости сдвига обрабатываемого материала определим касательные напряжения, возникающие в двух рассматриваемых плоскостях, и сравним их.

Случай 1. Касательное напряжение τ_1 , возникающее в плоскости ОА:

$$\tau_1, \quad (1)$$

где α – угол действия силы резания P ; $L_1 = a / \sin \beta_1$ – длина плоскости сдвига ОА, м; a – ширина среза, м.

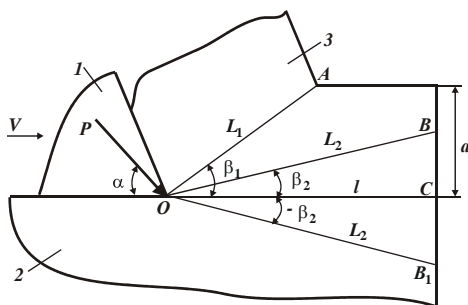


Рис. 1. Расчетная схема процесса стружкообразования при резании: 1 – режущий инструмент; 2 – обрабатываемый материал; 3 – образующаяся стружка.

Тогда

$$\tau_1 = \frac{P}{a \cdot \epsilon} \cdot \cos(\alpha + \beta_1) \cdot \sin \beta_1. \quad (2)$$

Как видно, угол β_1 неоднозначно влияет на касательное напряжение τ_1 , т.е. существует экстремум функции τ_1 от угла β_1 . Для его определения продифференцируем зависимость (2) по углу β_1 и производную приравняем к нулю. После несложных преобразований, имеем

$$(\tau_1)'_{\beta_1} = \frac{P}{a \cdot \epsilon} \cdot \cos(\alpha + 2\beta_1) = 0. \quad (3)$$

Откуда

$$\beta_1 = 45^\circ - \frac{\alpha}{2}. \quad (4)$$

Определим вторую производную функции τ_1 от угла β_1 :

$$(\tau_1)''_{\beta_1} = -\frac{2 \cdot P}{a \cdot \epsilon} \cdot \sin(\alpha + 2\beta_1). \quad (5)$$

В точке экстремума вторая производная функции τ_1 от угла β_1

$$(\tau_1)''_{\beta_1} = -\frac{2 \cdot P}{a \cdot \epsilon} \quad (6)$$

отрицательна. Следовательно, имеет место максимум функции τ_1 от угла β_1 . Поэтому сдвиг обрабатываемого материала произойдет под углом β_1 , определяемым зависимостью (4). Подставляя зависимость (4) в зависимость (1), установим максимальное касательное напряжение $\tau_{1\max}$:

$$\tau_{1\max} = \frac{P}{a \cdot \epsilon} \cdot \sin^2 \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right). \quad (7)$$

Очевидно, максимальное касательное напряжение $\tau_{1\max}$ изменяется по закону изменения угла β_1 . При достижении напряжением $\tau_{1\max}$ предела прочности на сдвиг обрабатываемого материала $\tau_{\text{сдв}}$ в плоскости ОА произойдет сдвиг материала. Подчиняя этому условию зависимость (7), можно определить силу резания P , при которой начинается процесс стружкообразования вдоль условной плоскости сдвига ОА:

$$P = \frac{a \cdot \epsilon \cdot \tau_{\text{сдв}}}{\sin^2 \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right)}. \quad (8)$$

Из зависимости (8) вытекает, что чем больше угол α , тем меньше угол β_1 , больше сила резания P и соответственно хуже будет протекать процесс стружкообразования при резании.

Рассмотрим случай 2 и определим касательное напряжение τ_2 , возникающее в плоскости ОВ:

$$\tau_2 = \frac{P \cdot \cos(\alpha + \beta_2)}{L_2 \cdot \epsilon}, \quad (9)$$

где $L_2 = l / \cos \beta_2$ – длина плоскости сдвига ОВ, м; $l = \text{OC}$ – расстояние от точки действия силы резания P до торцевой поверхности обрабатываемой детали, м.

Тогда

$$\tau_2 = \frac{P \cdot \cos(\alpha + \beta_2) \cdot \cos \beta_2}{l \cdot \epsilon}. \quad (10)$$

В данном случае имеет место вполне однозначная связь между касательным напряжением τ_2 и углом β_2 . С уменьшением угла β_2 касательное напряжение увеличивается. Очевидно, наибольшее значение τ_2 будет достигаться при отрицательном угле β_2 . Поэтому в зависимости (10) угол β_2 будем рассматривать отрицательным:

$$\tau_2 = \frac{P \cdot \cos(\alpha - \beta_2) \cdot \cos \beta_2}{l \cdot \epsilon}. \quad (11)$$

В результате пришли к зависимости (11), согласно которой угол β_2 неоднозначно влияет на касательное напряжение τ_2 , т.е. существует экстремум функции τ_2 от угла β_2 . Для его определения подчиним функцию τ_2 необходимому условию экстремума: $(\tau_2)'_{\beta_2} = 0$. Тогда

$$(\tau_2)'_{\beta_2} = \frac{P}{l \cdot \epsilon} \cdot \sin(\alpha - 2\beta_2) = 0. \quad (12)$$

Откуда

$$\beta_2 = \frac{\alpha}{2}. \quad (13)$$

Вторая производная функции τ_1 от угла β_1 в точке экстремума

$$(\tau_2)''_{\beta_2} = -\frac{2 \cdot P}{l \cdot \epsilon} \quad (14)$$

отрицательна. Следовательно, в точке экстремума имеет место максимум функции τ_2 от угла β_2 . Подставляя зависимость (13) в зависимость (11), определим максимальное касательное напряжение $\tau_{2_{\max}}$:

$$\tau_{2_{\max}} = \frac{P}{l \cdot \epsilon} \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2}. \quad (15)$$

Как и в предыдущем случае, максимальное касательное напряжение $\tau_{2_{\max}}$ изменяется по закону изменения угла β_2 , определяемого зависимостью (13).

При условии $\tau_{2_{\max}} = \tau_{\text{сдв}}$ в плоскости OB_1 , расположенной под углом $-\beta_2$, произойдет сдвиг обрабатываемого материала. Подчиняя этому условию зависимость (15), определим силу резания P , соответствующую началу сдвига обрабатываемого материала в плоскости OB_1 :

$$P = \frac{l \cdot \epsilon \cdot \tau_{\text{сдв}}}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}}. \quad (16)$$

С увеличением угла α сила резания P увеличивается.

При выполнении условия $\tau_{1_{\max}} = \tau_{2_{\max}} = \tau_{\text{сдв}}$ сдвиг обрабатываемого материала произойдет одновременно в двух рассматриваемых плоскостях OA и OB_1 . Сравнивая зависимости (7) и (15), можно установить соотношение a/l , при котором выполняется условие $\tau_{1_{\max}} = \tau_{2_{\max}} = \tau_{\text{сдв}}$:

$$\frac{a}{l} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)^2. \quad (17)$$

Таблица 1

Расчетные значения соотношений a/l , l/a и углов β_1 и β_2

α , град	0	10	40	60	80	90
a/l	0,5	0,415	0,202	0,089	0,012	0
l/a	2	2,4	5	11,2	83,3	∞
β_1 , град	45	40	25	15	5	0
β_2 , град	0	5	20	30	40	45

В табл. 1 приведены рассчитанные по зависимости (17) значения соотношений a/l , l/a , а также рассчитанные по зависимостям (4) и (13) значения углов β_1 и β_2 . Как видно, с увеличением угла α соотношение l/a неограниченно увеличивается. Следовательно, с увеличением угла α процесс стружкообразования (сдвиг обрабатываемого материала вдоль плоскости ОА) прекращается на большем расстоянии до торцевой поверхности обрабатываемой детали и соответственно начинается процесс сдвига материала вдоль плоскости ОВ₁. Это приводит или к образованию скола (при обработке хрупких материалов), или к образованию заусенцев (при обработке пластичных материалов).

Поэтому с точки зрения повышения качества обработки необходимо уменьшать угол α , уменьшая тем самым размер образующегося заусенца и трудоемкость последующей операции по его устранению. Уменьшение угла α предполагает уменьшение радиальной составляющей силы резания P_y (рис. 2), которая связана с углом α посредством соотношения P_z/P_y (коэффициента резания):

$$\frac{P_z}{P_y} = \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha) = \operatorname{ctg} \alpha, \quad (18)$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н.

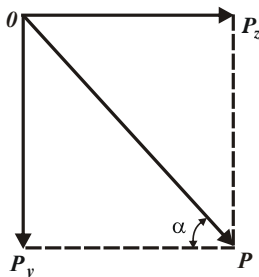


Рис. 2. Схема разложения силы резания P на составляющие.

Как известно, при абразивной обработке коэффициент резания P_z/P_y меньше, чем при лезвийной обработке. Так, при абразивной обработке коэффициент резания $P_z/P_y = 0,1 \dots 1,0$, а при лезвийной обработке –

$P_z / P_y = 0,5 \dots 10$. Соответственно, при абразивной обработке угол $\alpha = 45 \dots 85^\circ$, а при лезвийной обработке – $\alpha = 5 \dots 65^\circ$. Следовательно, при абразивной обработке угол α и радиальная составляющая силы резания P_y больше. Поэтому для уменьшения соотношения l/a целесообразно использовать лезвийную обработку. Основным условием эффективного применения абразивной обработки следует рассматривать повышение режущей способности инструмента, например, за счет реализации режима самозатачивания круга при шлифовании или использования прогрессивных методов правки круга.

Полученные решения имеют важное значение при создании высокопроизводительных методов зачистной обработки, особенно в случаях обработки деталей малой жесткости. Так, например, после отрезки колец на токарно-револьверном автомате, трудоемкость удаления заусенцев, расположенных на кромке обреза, составляет 300–350%, а удаление заусенцев после штамповки – 400–450% от трудоемкости изготовления этих деталей.

Сложность обработки указанных деталей на зачистных операциях связана с малой жесткостью и небольшими размерами деталей для качественной обработки в виброабразивных машинах или галтовочных барабанах и, в то же время, относительно большой массой для обработки известными способами, например, ультразвуковым. Результаты испытаний установок разных типов показали, что турбулентно-абразивная обработка преимущественно эффективна при обработке жестких деталей простой конструкции, виброабразивная обработка с большими амплитудами колебаний предпочтительна для деталей сложной конфигурации с пазами и отверстиями, в том числе для деталей малой жесткости. Создание виброабразивных машин с большими амплитудами колебаний (10–20 мм) даже при малых объемах рабочей камеры (до 1 л) связано с большими конструктивными трудностями, а также с вопросами вибро- и шумоизоляции. Таким образом, несмотря на то, что машиностроение и обладает арсеналом технологических приемов и возможностей, направленных на решение задач, связанных с достижением высокого качества и производительности отделочной обработки, зачистка деталей малой жесткости массой до 3 г в настоящее время осталась не механизированной и часто осуществляется вручную. В связи с этим, поиск и разработка новых методов отделочной обработки, обеспечивающих зачистку деталей малой жесткости массой до 3 г, является актуальной задачей.

В настоящее время разработан метод струйно-абразивной поверхностной обработки мелких деталей малой жесткости и сложной пространственной формы по новой схеме – абразивной обработке деталей затопленными струями [4]. Обработка по данной схеме исключает основной недостаток струйно-абразивных установок – абразивный износ каналов сопел или эжекционных насадок. На рис. 3. показаны единичные следы абразивных зерен зернистостью № 40 (400 мкм) на полированных латунных образцах, полу-

ченные при воздействии струи сжатого воздуха, затопленной в абразивной суспензии.

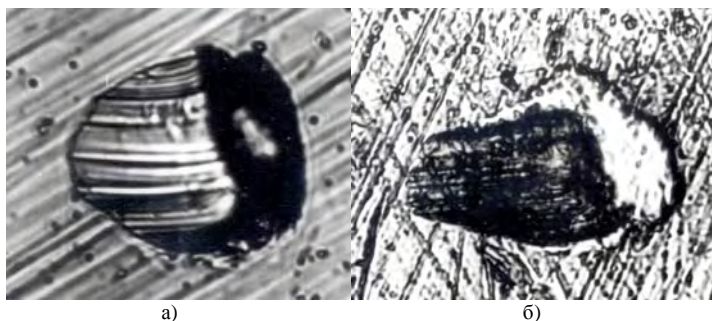


Рис. 3. Единичные следы абразивных зерен зернистостью № 40 (400 мкм) на полированных латунных образцах, полученные при воздействии струи сжатого воздуха, затопленной в абразивной суспензии. Материал абразива: а) - 63С (карбид кремния зеленый); б) - 24А (электрокорунд белый).

Таким образом, в работе на основе полученных аналитических решений раскрыт механизм образования заусенцев при механической обработке и сформулированы условия по их уменьшению, что позволяет научно обоснованно подойти к определению путей повышения качества обрабатываемых поверхностей в каждом конкретном случае обработки.

Список литературы: 1. Технологія машинобудування: підручник / О.В. Якимов, В.М. Царюк, О.О. Якимов, Г.О. Оборський, В.П. Ларшин, О.В. Самойленко. – Одеса: Астропринт, 2001. – 608 с. 2. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин. – К.: Техника, 1989. – 277 с. 3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 4. Андилахай А.А. Абразивная обработка деталей затопленными струями. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 190 с.

Поступила в редколлегию 16.04.2010